

(51)

Int. Cl. 2:

H 01 P 18

(19)

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

DT 2458477 A1

(11)

Offenlegungsschrift 24 58 477

(21)

Aktenzeichen:

P 24 58 477.8

(22)

Anmeldetag:

10. 12. 74

(43)

Offenlegungstag:

8. 7. 76

(30)

Unionspriorität:

(32) (33) (31)

(54)

Bezeichnung:

Mechanischer Mehrkanal-Phasenschieber

(71)

Anmelder:

Deutsche Forschungs- u. Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.,
5050 Porz-Wahn

(72)

Erfinder:

Fogy, Werner, Dr. phil., 8034 Neugermring; Forster, Hans, 8031 Gilching

DT 2458477 A1

Meine Akte: D 3650

Mechanischer Mehrkanal-Phasenschieber

Die Erfindung betrifft einen mechanischen Mehrkanal-Phasenschieber nach dem Prinzip veränderlicher Leitungslängen zur Speisung von Phased-Array-Antennen.

Die einzelnen Kanäle derartiger Phasenschieber sind in die Speiseleitungen der zugehörigen Elemente der Array-Antenne eingefügt. Durch geeignete Veränderungen der elektrischen Länge der Phasenschieberkanäle läßt sich dann die Phasenbelegung des Arrays so einstellen, daß die gewünschte Antennen-Charakteristik entsteht.

Mechanische Phasenschieber für Phased-Array-Antennen sind heute weitgehend durch Dioden- oder Ferrit-Phasenschieber verdrängt. Bei Anwendungen, bei denen die geringe Einstellgeschwindigkeit und der Verschleiß mechanischer Bauteile keine Rolle spielt, besitzt jedoch ein mechanischer Phasenschieber die Vorteile großer Robustheit und hoher Zuverlässigkeit.

Die bisher bekannten Phasenschieber nach dem Prinzip veränderbarer Leitungslängen (Posaunen) sind in Koaxialtechnik aufgebaut und daher mechanisch relativ aufwendig (M.I. Skolnik, Radar Systems, McGraw-Hill, 1962, Seite 307).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine entsprechende Konstruktion zu finden, die sich in Streifenleitungstechnik realisieren läßt.

Diese Aufgabe wird bei einem Phasenschieber der eingangs genannten Art erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Koppelung von Rotor- und Statorkomponente jeder Leitung kann durch galvanischen Kontakt oder kapazitiv erfolgen. Bei kapazitiver Koppelung ist in den meisten Fällen zur Verhinderung einer Wellenwiderstandsänderung der Leitung eine Stufung der Außenleiter erforderlich.

609828/0306

./.

Nach einer weiteren Ausbildung der Erfindung kann zur Erzielung einer vollkommenen Leitungssymmetrie, insbesondere bei kapazitiver Koppelung, der Statorteil jeder Leitung so geteilt sein, daß der geschaffene Zwischenraum den überlappenden Teil des Rotorteils der Leitung aufnimmt .

Alternativ kann bei kapazitiver Koppelung gemäß einer weiteren Ausbildung der Erfindung durch Stufung der Außenleiter nach Fig. 3 d jede Posaunenleitung aus vier unsymmetrischen und zwei symmetrischen Abschnitten zusammengesetzt werden. Die Abmessungen sind so zu wählen, daß alle Leitungsabschnitte den gleichen Wellenwiderstand besitzen.

Anhand der Zeichnung soll die Erfindung beispielsweise näher beschrieben werden. Es zeigen:

Fig. 1 ein Konstruktionsschema eines 2-Kanal-Phasenschiebers gemäß der Erfindung mit galvanischer Koppelung, in auseinandergezogener Darstellung;

Fig. 2 das geometrische Prinzip der Speisung eines Antennenarrays über den Phasenschieber;

Fig. 3 abgewinkelte Längsschnitte durch die Dreiplattenleitungen im Bereich der Überlappung von Stator- und Rotorleitungen, bei verschiedenen Streifenleitungsanordnungen; und

Fig. 4 Längsschnitte entsprechend Fig. 3 b, d mit zusätzlichen Vorrichtungen zur Dämpfung störender Resonanzen im Koppelungsbereich von Stator- und Rotorleitungen.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine Stator-Platine 7 vorgesehen, die auf ihrer Oberseite die geätzten Innenleiter der beiden Posaunenleitungen trägt. Eine Rotorplatine 4 ist mit den entsprechenden Posaunenleitungen auf der Unterseite versehen. Ein Statorring 5

./.

setzt die Rotorplatine nach außen fort. Ein Leistungsverteiler besteht aus zwei Platinen 6 mit einem geätzten Verteilerinnenleiter 8. Zwischen einer Moosgummiplatte 2 und dem Rotor 4 ist eine Metallfolie 3 angeordnet, die zur elektrischen Überbrückung des Spalts zwischen Rotor und Statorring dient. Ein Rotorantrieb 1 dient zur manuellen Einstellung. Die Oberseite der Rotorplatine und des Statorrings und der Unterseite der Statorplatine sind metallisiert, ebenso die Unterseite der unteren Verteilerplatine.

Alle Teile werden durch eine nicht dargestellte Feder zusammengedrückt, so daß ein ausreichender Kontakt zwischen den Posaunen-Leiterbahnen von Rotor und Stator gewährleistet ist.

Die drei unteren Platinen und der Statorring sind am Rand zusätzlich verschraubt. Die Ausgänge des Verteilers sind mit den entsprechenden Eingängen der Posaunen z.B. durch eingelötete Stifte leitend verbunden.

Das Prinzipschaltbild in Fig. 2 zeigt Umwegleitungen U_n zur Kompensation der Nullpunkt-Phasenverschiebungen bei ganz eingefahrenem Rotor, einen Leistungsverteiler V, ein Antennen-Array A, sowie den Schwenkwinkel ψ der Antennenkeule.

Fig. 3 zeigt abgewinkelte Längsschnitte durch die Dreiplattenleitungen im Bereich der Überlappung von Stator- und Rotorleitungen bei verschiedenen Streifenleitungsanordnungen, nämlich

- a): Dreiplattenleitung, einfacher Stator, galvanischer Kontakt
- b): Dreiplattenleitung, geteilter Stator, kapazitive Koppelung
- c): Version mit geteiltem Rotor-Leiter
- d): unsymmetrische Dreiplattenleitung, kapazitive Koppelung.

Fig. 4 zeigt Längsschnitte entsprechend Fig. 3 b, d mit zusätzlichen Dämpfungsbelägen 40, 41 zur Dämpfung störender Resonanzen im Koppelungsbereich von Stator- und Rotorleitungen.

Der in Fig. 1 dargestellte Vielfachphasenschieber weist deshalb voneinander unabhängige Leitungen veränderlicher Länge (Posaunen) in Streifenleitungstechnik auf, die auf einem Rotor und einem Stator konzentrisch so angeordnet sind, daß die Änderung der elektrischen Länge jeder Posaune dem Drehwinkel des Rotors und dem Abstand der Posaune von der Drehachse proportional ist.

Wenn die Eingänge der Posaunen über einen Verteiler, der zweckmäßigerweise auch in Streifenleitertechnik ausgeführt ist, mit geeigneten Phasen und Amplituden gespeist werden, dann lassen sich die Ausgänge der Posaunen unmittelbar mit den entsprechenden Elementen des Antennen-Arrays verbinden. Die Beziehung zwischen Drehwinkel α des Phasenschieberrotors und dem Sinus des Schwenkwinkels ψ der Antennenhauptstrahlrichtung ist streng linear (s. Fig. 2):

$$\sin \psi = 2\sqrt{\epsilon} f(r_n, r_{n+1}, v) \frac{r_{n+1} - r_n}{d_n} \alpha$$

$\sqrt{\epsilon}$ Verhältnis zwischen elektrischer und geometrischer Länge der äußersten Posaune

f Korrekturfaktor ($f \approx 1$)

r_n Abstand der n-ten Posaune von der Drehachse

d_n Distanz des n-ten und (n+1)-ten Arrayelements

v Frequenz

Der Korrekturfaktor f nimmt abhängig von der Geometrie der verwendeten Streifenleitung insbesondere bei hohen Frequenzen mit der Krümmung der Leiterbahnen etwas zu.

Die Koppelung zwischen Rotor- und Stator-Leiterbahnen kann galvanisch (Schleifkontakte) oder kapazitiv erfolgen. Fig. 3 zeigt einige der verschiedenen Möglichkeiten. Es sind auf die Papierebene abgewinkelte, nicht maßstäbliche Längsschnitte durch eine Streifenleitung im Bereich der Überlappung von Rotor- und Statorleiterbahnen dargestellt. Die Dielektrika von Rotor bzw. Stator sind jeweils kreuzschraffiert bzw. einfach schraffiert, Leiterbahnen und Schirme dick ausgezogen gezeichnet.

609828/0306

./.

Fig. 3 a zeigt die herstellungstechnisch einfachste Lösung. Nach diesem Prinzip wurde ein 10-fach-Phasenschieber für eine L-Band-Antenne hergestellt.

Bei kapazitiver Koppelung zwischen Stator- und Rotorleitungen ist im allgemeinen eine Stufung der Außenleiter zur Vermeidung von Wellenwiderstandsänderungen erforderlich. Dies läßt sich durch Zusammensetzen der Platinen aus Sektoren unterschiedlicher Dicke bewerkstelligen. Meist dürfte auch eine Unterdrückung von Störmoden, die sich im Überlappungsbereich der Leitungen ausbilden, notwendig sein. Bei schmalbandiger Auslegung des Phasenschiebers genügt dazu ein $\lambda/4$ langes Leitungsstück A mit nachfolgender bedämpfter Leitung B am Beginn der Überlappungsstrecke (Fig. 4 b). Der Wellenwiderstand Z_A der Leitung A - als Leitung seien hier die beiden die Störmoden führenden Teile der Posauneninnenleiter betrachtet - soll klein sein gegen den Wellenwiderstand Z_B der folgenden Leitung B. B sei z.B. durch ein Graphitbelag so stark bedämpft, daß unabhängig von der Phasenschieberstellung am Eingang von B nur Impedanzen $R \approx Z_B$ auftreten. Dann wird in die Stoßstelle lediglich die sehr kleine Serienimpedanz $Z_A^2/R \ll 1$ transformiert. Durch Einfügen einer weiteren $\lambda/4$ -langen Leitung Z gem. Fig. 4 a läßt sich der Stoß weiter vermindern.

Oberer und unterer Schirm der Posaunenplatinen bilden zusammen mit den im allgemeinen vorhandenen seitlichen Abschirmungen einen zylindrischen Hohlraum. Dieser kann insbesondere bei kapazitiver Koppelung der Posaunen zu E_{mno} -Schwingungen angeregt werden, die durch besondere Maßnahmen gedämpft werden müssen, da sonst störende Verkoppelungen der Leitungen auftreten. Da der Hohlraumresonator durch Verstellen des Rotors etwas verstimmt wird, können E_{mno} -Resonanzen meist nicht durch Auswahl geeigneter Topfabmessungen vermieden werden.

Die Feldverteilung in Randnähe des zylindrischen Resonatortopfs kann, wenn man die Umgebung von Knotenlinien nicht betrachtet, durch radial nach außen laufende und am Rand reflektierte TEM-Wellen beschrieben werden. Eine sehr gute Dämpfung der Hohlraumschwingungen erreicht man daher durch Absorption der nach außen laufenden Wellen mittels Widerständen oder anderen Absorbern

am Rand der Platinen. Bei dem hergestellten Musterstück eines L-Band-Phasenschiebers wurde zu diesem Zweck vom gemeinsamen Schirm der Phasenschieber- und Verteiler-Dreiplattenleitung durch einen Schlitz ein 5 mm breiter Rand abgetrennt. Der abgetrennte Rand, der sich über etwa drei Viertel des Umfangs der Platine erstreckt, ist mit dem oberen Schirm der Phasenschieber-Leitungen und dem unteren Schirm der Verteiler-Leitungen lediglich kapazitiv gekoppelt. Der Schlitz wird durch zahlreiche Kohleschichtwiderstände überbrückt, die in Ausfräsungen der Phasenschieberplatine untergebracht und mit Schirm und abgetrenntem Schirmrand verlötet sind. Die Widerstände sind im gegenseitigen Abstand $a \ll \lambda$ angeordnet. Ihr Widerstandswert wird gleich dem Wellenwiderstand einer Bandleitung der Breite a gewählt, deren Leiterabstand und Dielektrikum dem zu bedämpfenden Topf entsprechen.

Die günstigste Leitungsanordnung bei kapazitiver Koppelung dürfte in den meisten Fällen die nach Fig. 3 b oder d sein. Der Rotor in Fig. 3 b läßt sich z.B. aus einer gedruckten Schaltung auf kommerziell erhältlichem 0.13 mm starkem Glasfaser-PTFE-Trägermaterial herstellen, die mit einer zweiten gleichen Folie abgedeckt wird.

Bei der Anordnung nach Fig. 2 d muß zur Konstanthaltung des Wellenwiderstands die Symmetrie der Dreiplattenleitung aufgegeben werden. Zur Überleitung der infolge der Leitungsunsymmetrie ungleichen Schirmströme müssen im Überlappungsbereich besondere Schirmstromkoppellemente vorgesehen werden, die infolge ihres Platzbedarfs und des konstruktiven Aufwands einen gewissen Nachteil dieser Konfiguration bilden. Andererseits wird durch die Schirmkoppler eine besonders gute Entkoppelung der einzelnen Posaunen erzielt. Als Schirmstromkoppler eignen sich bei der üblichen Herstellungsmethode der Platinen aus kupferbeschichteten Kunststoffplatten Leiterbahnen zu beiden Seiten der Posaunenleitungen, die durch zahlreiche galvanisch durchkontaktierte Bohrungen mit dem jeweiligen Schirm verbunden sind.

Ein Musterstück eines L-Band-Phasenschiebers mit galvanischer Koppelung wurde nach dem Konstruktionsprinzip Fig. 1 bzw. Fig. 3 a gebaut.

./.

609828/0306

Dieser 10-Kanal-Phasenschieber liefert bei einem maximalen Drehhub von 115° eine Phasendifferenz zwischen benachbarten Kanälen von 150° (Frequenz 1.6 GHz). Der Wellenwiderstand aller Posaunen beträgt 50 Ohm. Die Platinen haben einen Durchmesser von 32 cm und sind aus 1.6 mm starkem kupferkaschier-tem Glasfaser-PTFE-Material mittels Fotoätzverfahren hergestellt. Der Rotor, ein kreisförmiger Ausschnitt der obersten Platine, wird mittels Schaumsili-conplatte und Druckteller mit einer Kraft von 30 kp angedrückt. Bei einer Schmierung mit flüssigem Paraffin ist zur Drehung des Rotors unter diesen Bedingungen ein Drehmoment von maximal 0.8 mkp notwendig. Bei einem Dauer-versuch konnte nach 1000 Drehzyklen noch keine sichtbare Abnutzung festge-stellt werden.

Die Vermessung des Musters ergab kanalunabhängige mittlere absolute Phasenfehler von ca. $\pm 5^{\circ}$, die auf Stoßstellen in den Leitungen, Ungleich-mäßigkeiten der Platinen usw. zurückzuführen sind, und die noch verringert werden könnten.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile, verglichen mit konventionellen mechanischen Phasenschiebern, bestehen in einem wesentlich billigeren Herstellungsverfahren, da alle Platinen als "gedruckte Schaltungen" her-gestellt werden können. Die Prototypherstellung und -Optimierung wird besonders einfach, da sich die gezeichneten Vorlagen für das Foto-Ätzver-fahren leicht mittels rechner-gesteuertem Plotter erzeugen lassen. Schließ-lich ist noch der Gewichts- und Größenvorteil von Bedeutung: In Streifen-leitungstechnologie lassen sich die Leitungen dichter packen und mit ge-ringerem Gewicht herstellen als in Koaxtechnik.

Patentansprüche

1. Mechanischer Mehrkanal-Phasenschieber mit veränderlichen Leitungslängen zur Speisung von Phased-Array-Antennen, dadurch gekennzeichnet, daß die in Dreiplattenleitungstechnik aufgebauten Posaunen teils auf einem Rotor, teils auf einem Stator konzentrisch so angeordnet sind, daß

sich die Innenleiter des Rotor- und des Statorteils jeder Posaunenleitung in einem Bereich überlappen, dessen Länge jeweils proportional dem Drehwinkel des Rotors ist.

2. Mehrfach-Phasenschieber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorplatine so geteilt ist, daß der Zwischenraum zwischen den beiden Teilen des Statorteils den überlappenden Teil des Rotorteils der Posaunen aufnimmt (Fig. 3 b, c).
3. Mehrfach-Phasenschieber nach Anspruch 1 dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorplatine und die Statorplatine derart gestuft ausgebildet sind, daß sich sechs Leitungsabschnitte mit gleichem Wellenwiderstand ergeben und daß vier der sechs Leitungsabschnitte unsymmetrisch ausgelegt sind (Fig. 3 d).

9
Leerseite

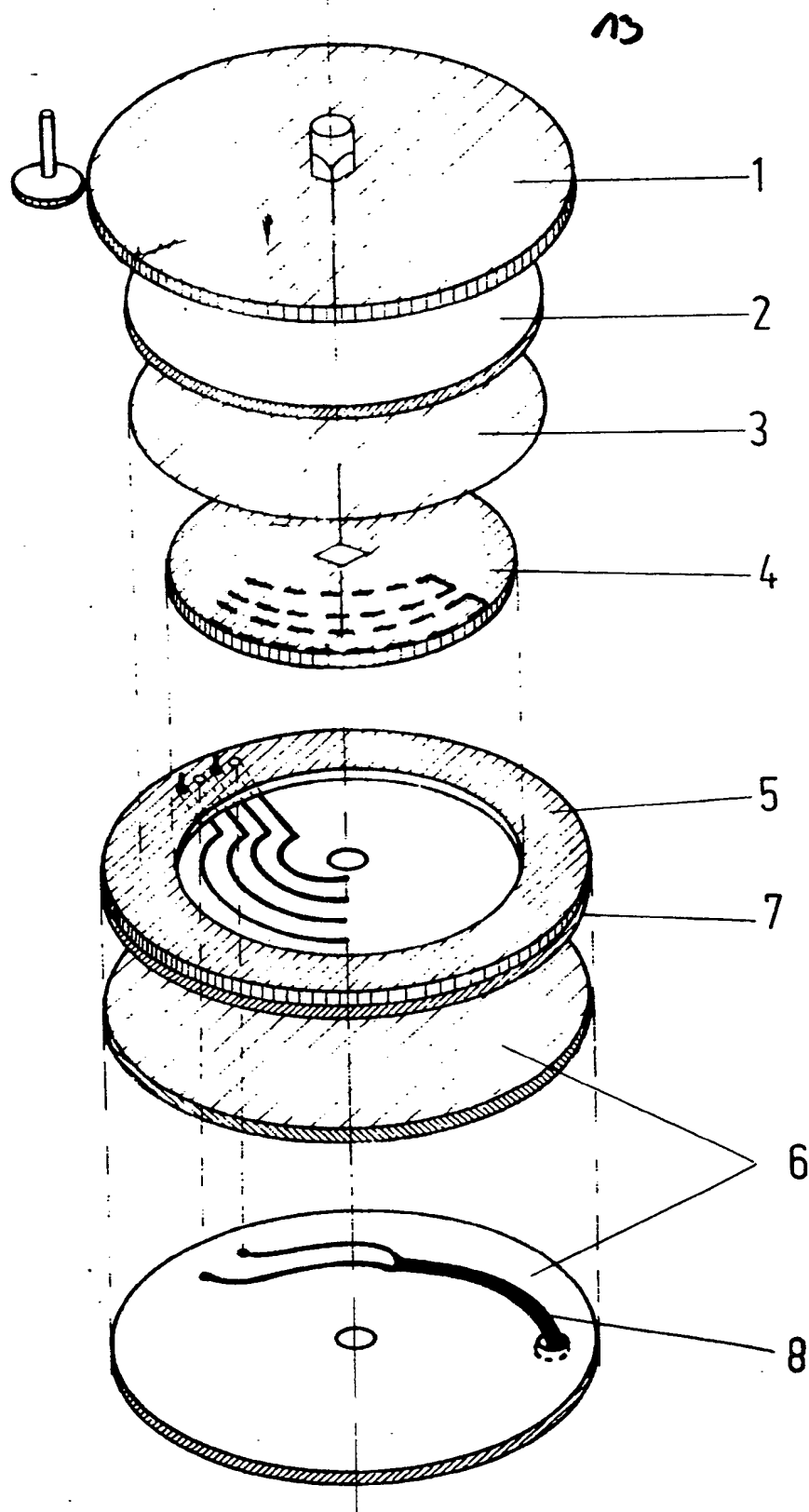


Fig.1 X

609828/0306

H01P

1-18

AT:10.12.1974 OT:08.07.1976

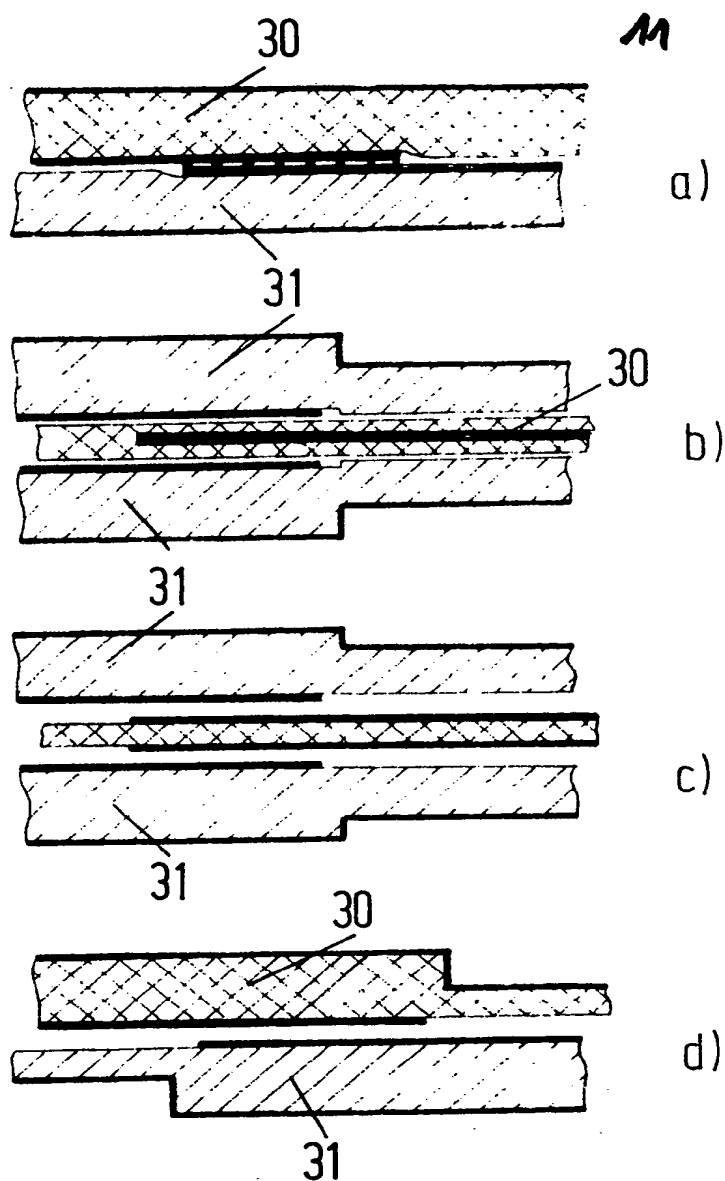
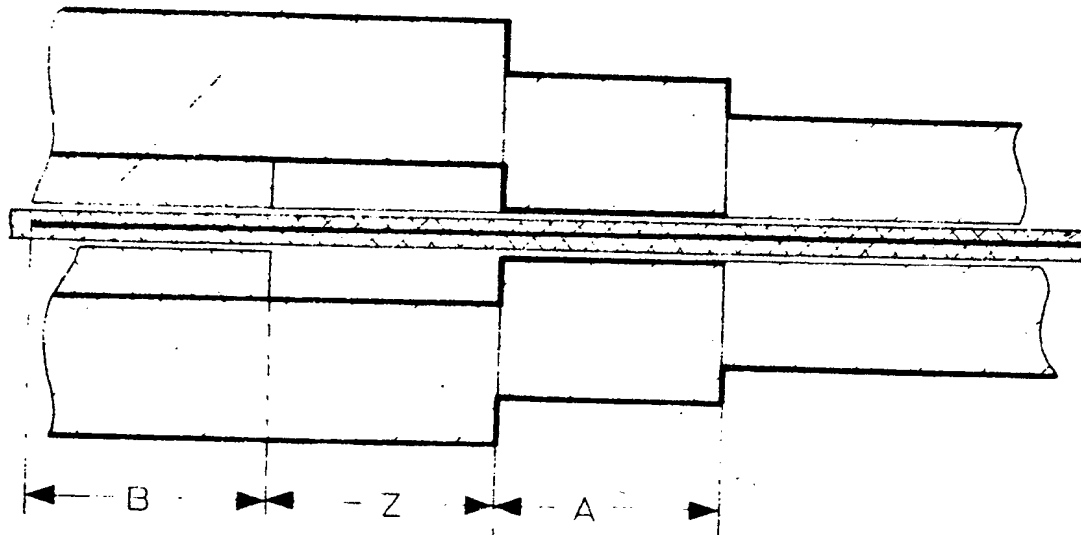


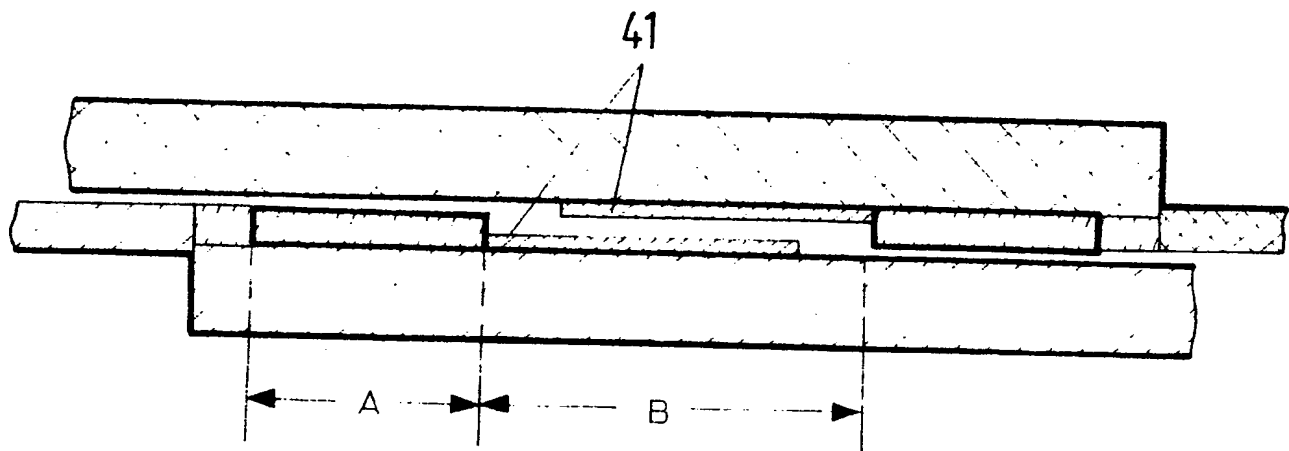
Fig. 3

12

40



a)



b)

609828/0306

Fig. 4

51

19

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PATENTAMT

Int. Cl. 2:

H 01 P 1/18

DE 24 58 477 B 2

11

21

22

43

44

Auslegeschrift 24 58 477

Aktenzeichen: P 24 58 477.8-35

Anmeldetag: 10. 12. 74

Offenlegungstag: 8. 7. 76

Bekanntmachungstag: 11. 5. 78

30

Unionspriorität:

32

33

31

54

Bezeichnung:

Mechanischer Mehrkanal-Phasenschieber

71

Anmelder:

Deutsche Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt
e.V., 5000 Köln

72

Erfinder:

Fogy, Werner, Dr.phil., 8034 Neugermring; Forster, Hans,
8031 Gilching

56

Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
Nichts ermittelt

DE 24 58 477 B 2

Patentansprüche:

1. Mechanischer Mehrkanal-Phasenschieber mit veränderbaren Leitungslängen zur Speisung von Phased-Array-Antennen, dadurch gekennzeichnet, daß die in Dreiplattenleitungstechnik aufgebauten Posaunen teils auf einem Rotor, teils auf einem Stator konzentrisch so angeordnet sind, daß sich die Innenleiter des Rotor- und des Statorteils jeder Posaunenleitung in einem Bereich überlappen, dessen Länge jeweils proportional dem Drehwinkel des Rotors ist.

2. Mehrkanal-Phasenschieber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Statorplatine so geteilt ist, daß der Zwischenraum zwischen den beiden Teilen des Statorteils den überlappenden Teil des Rotorteils der Posaunen aufnimmt (Fig. 3b, 3c).

3. Mehrkanal-Phasenschieber nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rotorplatine und die Statorplatine derart gestuft ausgebildet sind, daß sich sechs Leitungsabschnitte mit gleichem Wellenwiderstand ergeben und daß vier der sechs Leitungsabschnitte unsymmetrisch ausgelegt sind (Fig. 3d).

4. Mehrkanal-Phasenschieber nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß über dem Rotor und dem Statorring eine Metallfolie (3) zur Überbrückung des Spalts zwischen Rotor und Statorring vorgesehen ist.

5. Mehrkanal-Phasenschieber nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß Umwegleitungen (U_0 , U_1 , U_2) vorgesehen und mit jeweils einer Posaune verbunden sind.

6. Mehrkanal-Phasenschieber nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Stator geteilt ist und daß zwischen den Posaunen des Stators und des Rotors eine kapazitive Koppelung besteht.

7. Mehrkanal-Phasenschieber nach wenigstens einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Posaunen des Rotors in verschiedenen Ebenen und voneinander isoliert angeordnet sind.

8. Mehrkanal-Phasenschieber nach wenigstens einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die in Dreiplattenleitungstechnik aufgebauten Posaunen in unsymmetrischer Anordnung mit kapazitiver Kopplung vorgesehen sind.

Die Erfindung betrifft einen mechanischen Mehrkanal-Phasenschieber nach dem Prinzip veränderbarer Leitungslängen zur Speisung von Phased-Array-Antennen.

Die einzelnen Kanäle derartiger Phasenschieber sind in die Speiseleitungen der zugehörigen Elemente der Array-Antenne eingefügt. Durch geeignete Veränderungen der elektrischen Länge der Phasenschieberkanäle läßt sich dann die Phasenbelegung des Arrays so einstellen, daß die gewünschte Antennen-Charakteristik entsteht.

Mechanische Phasenschieber für Phased-Array-Antennen sind heute weitgehend durch Dioden- oder

Ferrit-Phasenschieber verdrängt. Bei Anwendungen, bei denen die geringe Einstellgeschwindigkeit und der Verschleiß mechanischer Bauteile keine Rolle spielt, besitzt jedoch ein mechanischer Phasenschieber die Vorteile großer Robustheit und hoher Zuverlässigkeit.

Die bisher bekannten Phasenschieber nach dem Prinzip veränderbarer Leitungslängen (Posaunen) sind in Koaxialtechnik aufgebaut und daher mechanisch relativ aufwendig (M.I. Skolnik, Radar Systems, McGraw-Hill, 1962, Seite 307).

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine entsprechende Konstruktion zu finden, die sich in Streifenleitungstechnik realisieren läßt.

Diese Aufgabe wird bei einem Phasenschieber der eingangs genannten Art erfindungsgemäß durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind Gegenstand der Unteransprüche.

Die Koppelung von Rotor- und Statorkomponente jeder Leitung kann durch galvanischen Kontakt oder kapazitiv erfolgen. Bei kapazitiver Koppelung ist in den meisten Fällen zur Verhinderung einer Wellenwiderstandsänderung der Leitung eine Stufung der Außenleiter erforderlich.

Nach einer weiteren Ausbildung der Erfindung kann zur Erzielung einer vollkommenen Leitungssymmetrie, insbesondere bei kapazitiver Koppelung, der Statorteil jeder Leitung so geteilt sein, daß der geschaffene Zwischenraum den überlappenden Teil des Rotorteils der Leitung aufnimmt.

Alternativ kann bei kapazitiver Koppelung gemäß einer weiteren Ausbildung der Erfindung durch Stufung der Außenleiter nach Fig. 3d jede Posaunenleitung aus vier unsymmetrischen und zwei symmetrischen Abschnitten zusammengesetzt werden. Die Abmessungen sind so zu wählen, daß alle Leitungsabschnitte den gleichen Wellenwiderstand besitzen.

Anhand der Zeichnung soll die Erfindung beispielsweise näher beschrieben werden. Es zeigt

Fig. 1 ein Konstruktionsschema eines 2-Kanal-Phasenschiebers gemäß der Erfindung mit galvanischer Koppelung, in auseinandergezogener Darstellung,

Fig. 2 das geometrische Prinzip der Speisung eines Antennenarrays über den Phasenschieber,

Fig. 3 abgewinkelte Längsschnitte durch die Dreiplattenleitungen im Bereich der Überlappung von Stator- und Rotorleitungen, bei verschiedenen Streifenleitungsanordnungen, und

Fig. 4 Längsschnitte entsprechend Fig. 3b, 3d mit zusätzlichen Vorrichtungen zur Dämpfung störender Resonanzen im Koppelungsbereich von Stator- und Rotorleitungen.

Bei dem in Fig. 1 dargestellten Ausführungsbeispiel ist eine Stator-Platine 7 vorgesehen, die auf ihrer Oberseite die geätzten Innenleiter der beiden Posaunenleitungen trägt. Eine Rotorplatine 4 ist mit den entsprechenden Posaunenleitungen auf der Unterseite versehen. Ein Statorring 5 setzt die Rotorplatine nach außen fort. Ein Leistungsverteiler besteht aus zwei Platinen 6 mit einem geätzten Verteilerinnenleiter 8. Zwischen einer Moosgummiplatte 2 und dem Rotor 4 ist eine Metallfolie 3 angeordnet, die zur elektrischen Überbrückung des Spalts zwischen Rotor und Statorring dient. Ein Rotorantrieb 1 dient zur manuellen Einstellung. Die Oberseite der Rotorplatine und des Statorrings und der Unterseite der Statorplatine sind metallisiert, ebenso die Unterseite der unteren Verteilerplatine.

Alle Teile werden durch eine nicht dargestellte Feder zusammengedrückt, so daß ein ausreichender Kontakt zwischen den Posaunen-Leiterbahnen von Rotor und Stator gewährleistet ist.

Die drei unteren Platinen und der Statorring sind am Rand zusätzlich verschraubt. Die Ausgänge des Verteilers sind mit den entsprechenden Eingängen der Posaunen z. B. durch eingelötete Stifte leitend verbunden.

Das Prinzipschaltbild in Fig. 2 zeigt Umwegleitungen U_n zur Kompensation der Nullpunkt-Phasenverschiebungen bei ganz eingefahrenem Rotor, einen Leistungsverteiler V , ein Antennen-Array E , sowie den Schwenkwinkel ψ der Antennenkeule.

Fig. 3 zeigt abgewinkelte Längsschnitte durch die Dreiplattenleitungen im Bereich der Überlappung von Stator- und Rotorleitungen bei verschiedenen Streifenleitungsanordnungen, nämlich

- a): Dreiplattenleitung, einfacher Stator, galvanischer Kontakt,
- b): Dreiplattenleitung, geteilter Stator, kapazitive Koppelung,
- c): Version mit geteiltem Rotor-Leiter,
- d): unsymmetrische Dreiplattenleitung, kapazitive Koppelung.

Fig. 4 zeigt Längsschnitte entsprechend Fig. 3b, 3d mit zusätzlichen Dämpfungsbelägen 40, 41 zur Dämpfung störender Resonanzen im Koppelungsbereich von Stator- und Rotorleitungen.

Der in Fig. 1 dargestellte Vielfachphasenschieber weist deshalb voneinander unabhängige Leitungen veränderlicher Länge (Posaunen) in Streifenleitungstechnik auf, die auf einem Rotor und einem Stator konzentrisch so angeordnet sind, daß die Änderung der elektrischen Länge jeder Posaune dem Drehwinkel des Rotors und dem Abstand der Posaune von der Drehachse proportional ist.

Wenn die Eingänge der Posaunen über einen Verteiler, der zweckmäßigerweise auch in Streifenleitertechnik ausgeführt ist, mit geeigneten Phasen- und Amplituden gespeist werden, dann lassen sich die Ausgänge der Posaunen unmittelbar mit den entsprechenden Elementen des Antennen-Arrays verbinden. Die Beziehung zwischen Drehwinkel α des Phasenschieberrotors und dem Sinus des Schwenkwinkels ψ der Antennenhauptstrahlrichtung ist streng linear (siehe Fig. 2):

$$\sin \psi = 2 \sqrt{\epsilon} f(r_n, r_{n+1}, v) \frac{r_{n+1} - r_n}{d_n} \alpha.$$

$\sqrt{\epsilon}$ Verhältnis zwischen elektrischer und geometrischer Länge der äußersten Posaune

f Korrekturfaktor ($f \approx 1$)

r_n Abstand der n -ten Posaune von der Drehachse

d_n Distanz des n -ten und $(n+1)$ -ten Arrayelements

v Frequenz

Der Korrekturfaktor f nimmt abhängig von der Geometrie der verwendeten Streifenleitung insbesondere bei hohen Frequenzen mit der Krümmung der Leiterbahnen etwas zu.

Die Koppelung zwischen Rotor- und Stator-Leiterbahnen kann galvanisch (Schleifkontakte) oder kapazitiv erfolgen. Fig. 3 zeigt einige der verschiedenen Möglichkeiten. Es sind auf die Papierebene abgewinkelte, nicht maßstäbliche Längsschnitte durch eine

Streifenleitung im Bereich der Überlappung von Rotor- und Statorleiterbahnen dargestellt. Die Dielektrika von Rotor bzw. Stator sind jeweils kreuzschraffiert bzw. einfach schraffiert. Leiterbahnen und Schirme dick ausgezogen gezeichnet.

Fig. 3a zeigt die herstellungstechnisch einfachste Lösung. Nach diesem Prinzip wurde ein 10fach-Phasenschieber für eine L-Band-Antenne hergestellt.

Bei kapazitiver Koppelung zwischen Stator- und Rotorleitungen ist im allgemeinen eine Stufung der Außenleiter zur Vermeidung von Wellenwiderstandsänderungen erforderlich. Dies läßt sich durch Zusammensetzen der Platinen aus Sektoren unterschiedlicher Dicke bewerkstelligen. Meist dürfte auch eine Unterdrückung von Störmoden, die sich im Überlappungsbereich der Leitungen ausbilden, notwendig sein. Bei schmalbandiger Auslegung des Phasenschiebers genügt dazu ein $\lambda/4$ langes Leitungsstück A mit nachfolgender bedämpfter Leitung B am Beginn der Überlappungsstrecke (Fig. 4b). Der Wellenwiderstand Z_A der Leitung A — als Leitung seien hier die beiden die Störmoden führenden Teile der Posauneninnenleiter betrachtet — soll klein sein gegen den Wellenwiderstand Z_B der folgenden Leitung B . B sei z. B. durch ein Graphitbelag so stark bedämpft, daß unabhängig von der Phasenschieberstellung am Eingang von B nur Impedanzen $R \approx Z_B$ auftreten. Dann wird in die Stoßstelle lediglich die sehr kleine Serienimpedanz $Z_A^2/R \ll 1$ transformiert. Durch Einfügen einer weiteren $\lambda/4$ -langen Leitung Z gem. Fig. 4a läßt sich der Stoß weiter vermindern.

Oberer und unterer Schirm der Posaunenplatinen bilden zusammen mit den im allgemeinen vorhandenen seitlichen Abschirmungen einen zylindrischen Hohlraum. Dieser kann insbesondere bei kapazitiver Koppelung der Posaunen zu E_{mno} -Schwingungen angeregt werden, die durch besondere Maßnahmen gedämpft werden müssen, da sonst störende Verkoppelungen der Leitungen auftreten. Da der Hohlraumresonator durch Verstellen des Rotors etwas verstimmt wird, können E_{mno} -Resonanzen meist nicht durch Auswahl geeigneter Topfabmessungen vermieden werden.

Die Feldverteilung in Randnähe des zylindrischen Resonatortopfs kann, wenn man die Umgebung von Knotenlinien nicht betrachtet, durch radial nach außen laufende und am Rand reflektierte TEM-Wellen beschrieben werden. Eine sehr gute Dämpfung der Hohlraumschwingungen erreicht man daher durch Absorption der nach außen laufenden Wellen mittels Widerständen oder anderen Absorbern am Rand der Platinen. Bei dem hergestellten Musterstück eines L-Band-Phasenschiebers wurde zu diesem Zweck vom gemeinsamen Schirm der Phasenschieber- und Verteiler-Dreiplattenleitung durch einen Schlitz ein 5 mm breiter Rand abgetrennt. Der abgetrennte Rand, der sich über etwa drei Viertel des Umfangs der Platine erstreckt, ist mit dem oberen Schirm der Phasenschieber-Leitungen und dem unteren Schirm der Verteiler-Leitungen lediglich kapazitiv gekoppelt. Der Schlitz wird durch zahlreiche Kohleschichtwiderstände überbrückt, die in Ausfräsungen der Phasenschieberplatine untergebracht und mit Schirm und abgetrenntem Schirmrand verlötet sind. Die Widerstände sind im gegenseitigen Abstand $a \ll \lambda$ angeordnet. Ihr Widerstandswert wird gleich dem Wellenwiderstand einer Bandleitung der Breite a gewählt, deren Leiterabstand und Dielektrikum dem zu bedämpfenden Topf entsprechen.

Die günstigste Leitungsanordnung bei kapazitiver Koppelung dürfte in den meisten Fällen die nach Fig. 3b oder 3d sein. Der Rotor in Fig. 3b läßt sich z. B. aus einer gedruckten Schaltung auf kommerziell erhältlichem 0,13 mm starkem Glasfaser-PTFE-Trägermaterial herstellen, die mit einer zweiten gleichen Folie abgedeckt wird.

Bei der Anordnung nach Fig. 3d muß zur Konstanthaltung des Wellenwiderstands die Symmetrie der Dreiplattenleitung aufgegeben werden. Zur Überleitung der infolge der Leitungsunsymmetrie ungleichen Schirmströme müssen im Überlappungsbereich besondere Schirmstromkoppelemente vorgesehen werden, die infolge ihres Platzbedarfs und des konstruktiven Aufwands einen gewissen Nachteil dieser Konfiguration bilden. Andererseits wird durch die Schirmkoppler eine besonders gute Entkoppelung der einzelnen Posaunen erzielt. Als Schirmstromkoppler eignen sich bei der üblichen Herstellungsmethode der Platinen aus kupferbeschichteten Kunststoffplatten Leiterbahnen zu beiden Seiten der Posaunenleitungen, die durch zahlreiche galvanisch durchkontaktierte Bohrungen mit dem jeweiligen Schirm verbunden sind.

Ein Musterstück eines L-Band-Phasenschiebers mit galvanischer Koppelung wurde nach dem Konstruktionsprinzip Fig. 1 bzw. Fig. 3a gebaut.

Dieser 10-Kanal-Phasenschieber liefert bei einem maximalen Drehhub von 115° eine Phasendifferenz zwischen benachbarten Kanälen von 150° (Frequenz

1,6 GHz). Der Wellenwiderstand aller Posaunen beträgt 50 Ohm. Die Platinen haben einen Durchmesser von 32 cm und sind aus 1,6 mm starkem kupferkaschiertem Glasfaser-PFTE-Material mittels Fotoätzverfahren hergestellt. Der Rotor, ein kreisförmiger Ausschnitt der obersten Platine, wird mittels Schaumsiliconplatte und Drückteller mit einer Kraft von 30 kp angedrückt. Bei einer Schmierung mit flüssigem Paraffin ist zur Drehung des Rotors unter diesen Bedingungen ein Drehmoment von maximal 0,8 mkp notwendig. Bei einem Dauerversuch konnte nach 1000 Drehzyklen noch keine sichtbare Abnutzung festgestellt werden.

Die Vermessung des Musters ergab kanalunabhängige mittlere absolute Phasenfehler von ca. $\pm 5^\circ$, die auf Stoßstellen in den Leitungen, Ungleichmäßigkeiten der Platinen usw. zurückzuführen sind, und die noch verringert werden könnten.

Die mit der Erfindung erzielten Vorteile, verglichen mit konventionellen mechanischen Phasenschiebern, bestehen in einem wesentlich billigeren Herstellungsverfahren, da alle Platinen als »gedruckte Schaltungen« hergestellt werden können. Die Prototypenherstellung und -Optimierung wird besonders einfach, da sich die gezeichneten Vorlagen für das Foto-Ätzverfahren leicht mittels rechnergesteuertem Plotter erzeugen lassen. Schließlich ist noch der Gewichts- und Größenvorteil von Bedeutung: In Streifenleitungstechnologie lassen sich die Leitungen dichter packen und mit geringerem Gewicht herstellen als in Koaxtechnik.

Hierzu 4 Blatt Zeichnungen

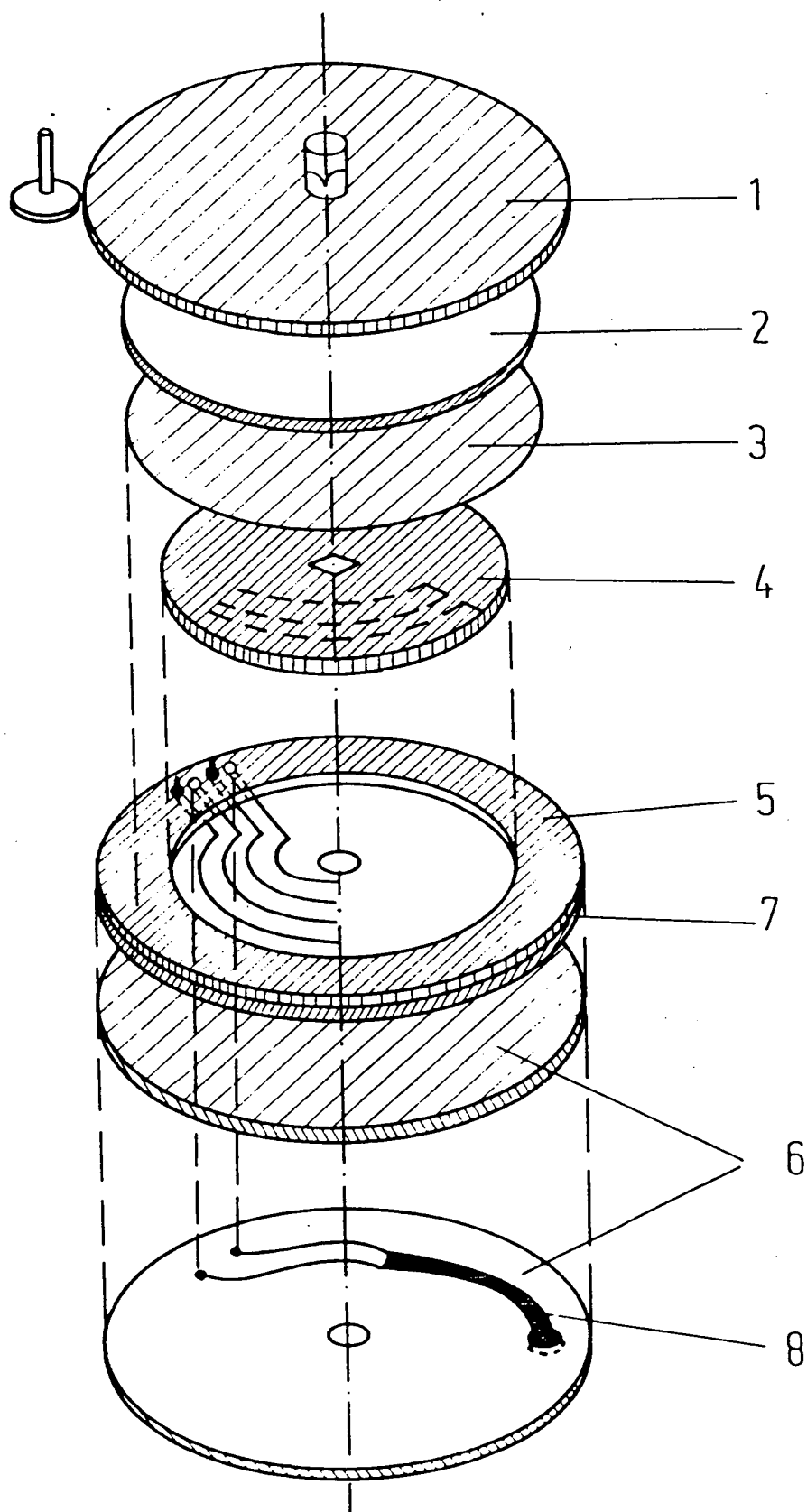


Fig.1

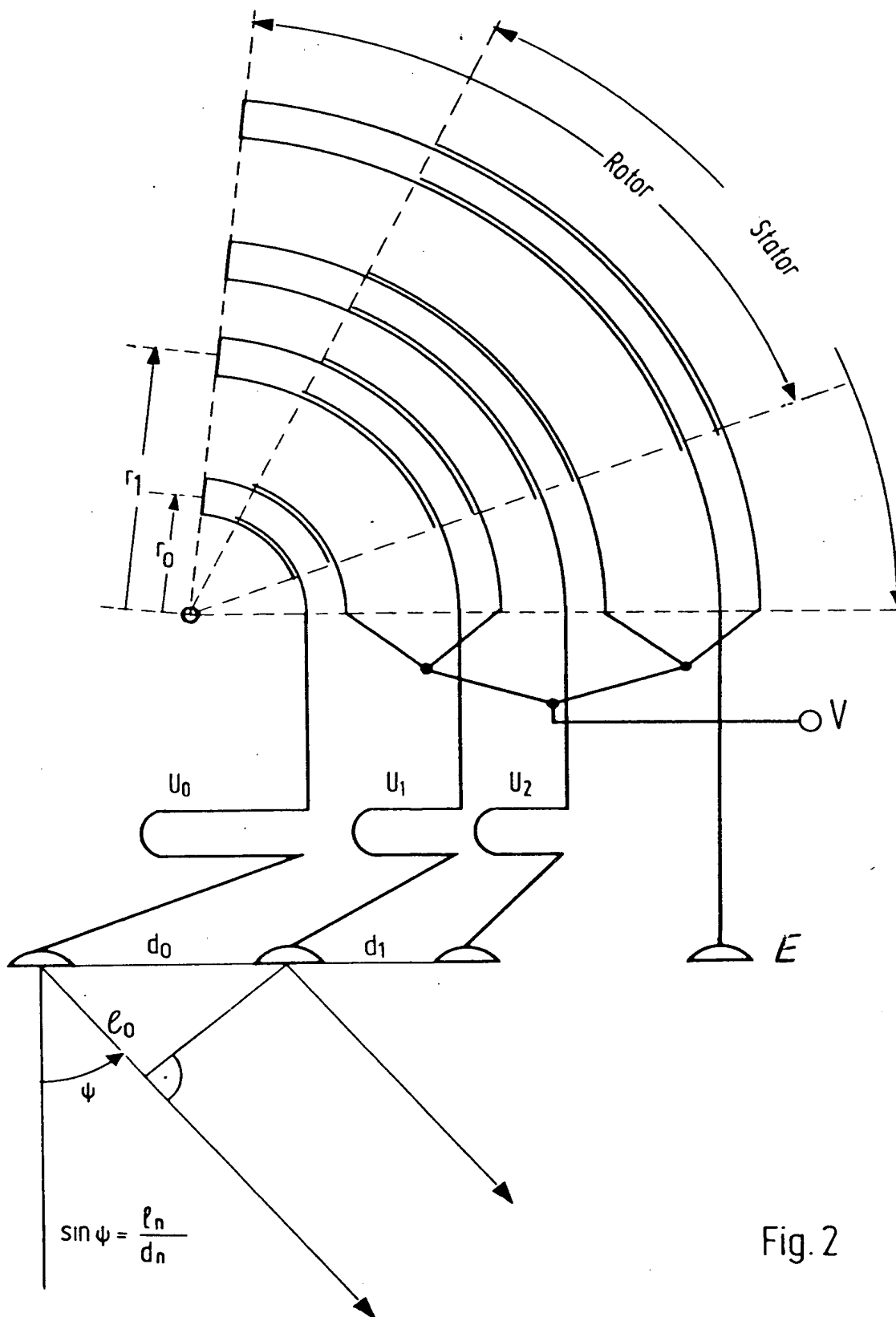


Fig. 2

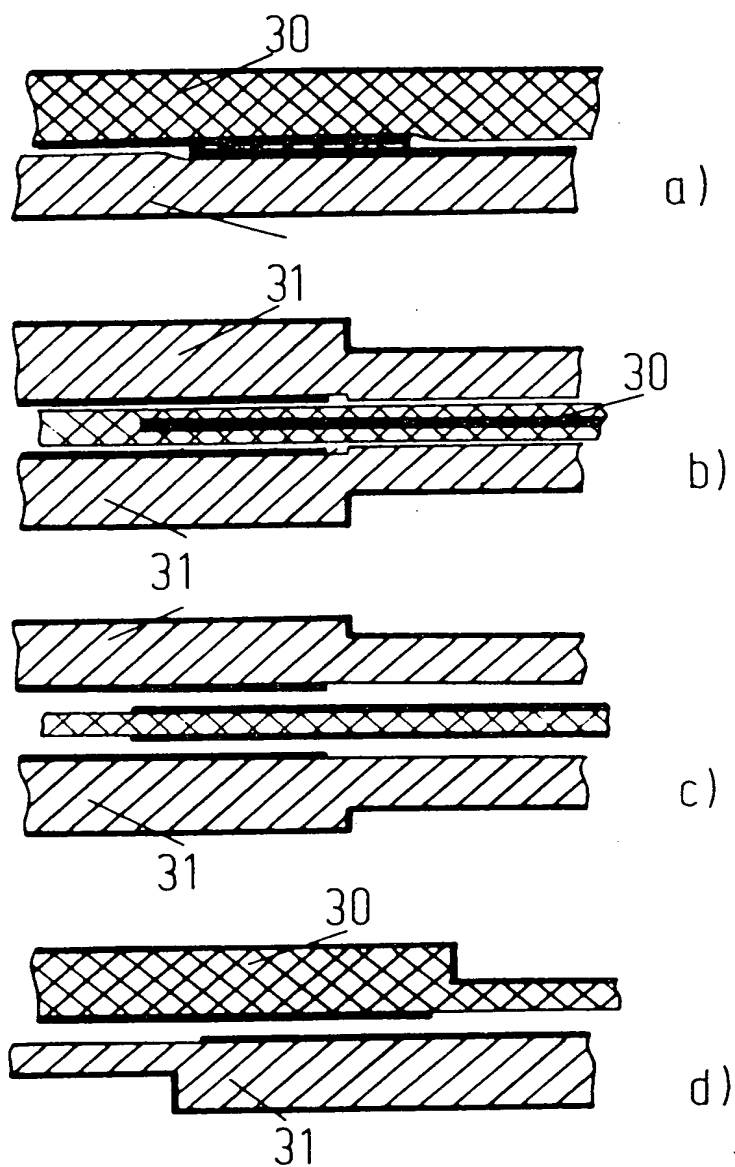
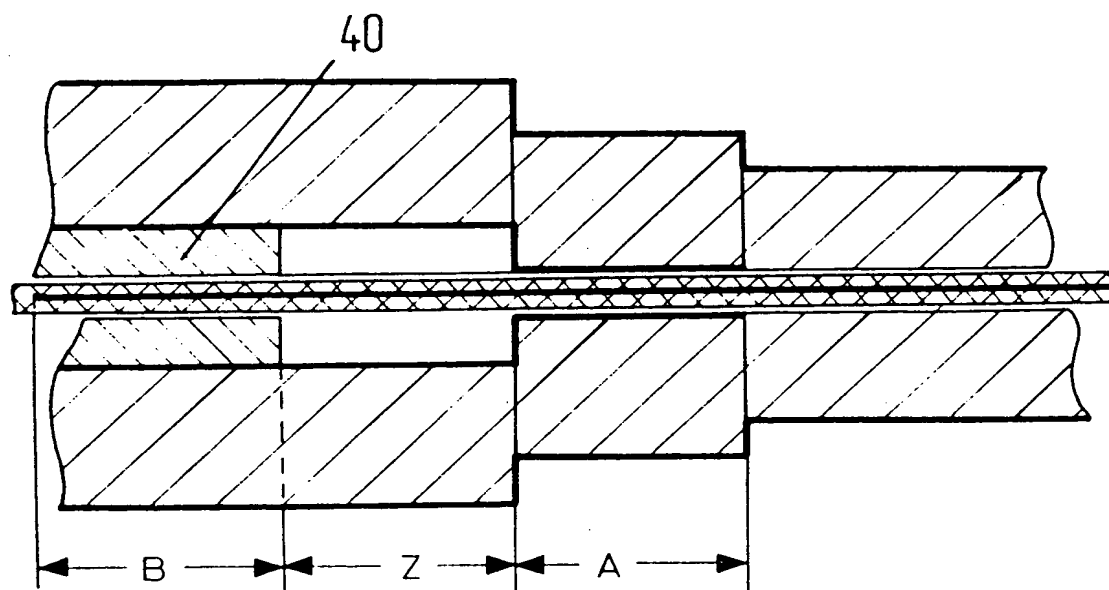
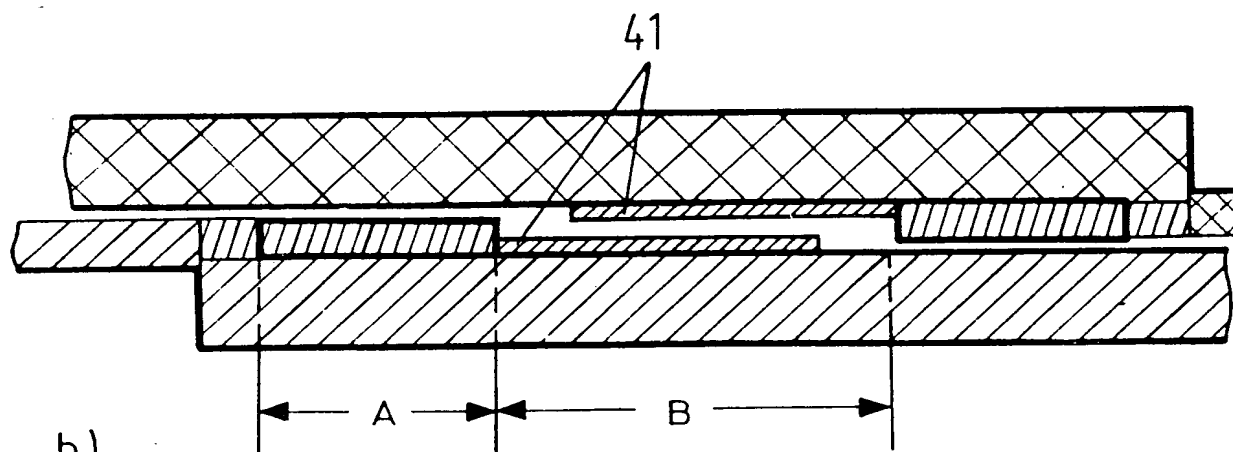


Fig. 3



a)



b)

Fig. 4